

Wie Digitale Zwillinge Unternehmensgrenzen überwinden

Ein Beitrag zur Gestaltung von Digitalen Zwillingen mit unternehmensübergreifenden Anwendungen im Produktlebenszyklus

Jan-Frederik Uhlenkamp,
Karl Hribernik und
Klaus-Dieter Thoben, Bremen

Steigende Abhängigkeiten in heutigen Wertschöpfungsketten und innovative Geschäftsmodelle lassen die organisatorische Abgrenzung produktbezogener Aufgaben und Leistungen zusehends verschwimmen. Dieser Beitrag versucht systematisch aufzuzeigen, wie Digitale Zwillinge im Kontext unternehmensübergreifender Geschäftsmodelle und Anwendungen gestaltet werden können. Wir unterscheiden hierfür fünf verschiedene Ausprägungen von Digitalen Zwillingen und beleuchten Ansätze für ihre Umsetzung.

Einleitung und grundlegende Annahmen

Der Digitale Zwilling (DZ) ist ein aufkommendes Konzept zur Verbesserung und Erweiterung von Systemfähigkeiten im gesamten Lebenszyklus und dient als Basis für innovative Geschäftsmodelle, wie z.B. service-orientierte Dienstleistungen. Anwendungen für Digitale Zwillinge sind über verschiedene Domänen sowie Produktlebenszyklusphasen hinweg zu finden.

Die Diskussion um die genaue Definition, Abgrenzung und Komposition Digitaler Zwillinge ist in der wissenschaftlichen Literatur zwar noch nicht abgeschlossen. Da sich diese Veröffentlichung aber ebenfalls auf abstrakter Ebene mit dem DZ beschäftigt, lässt sich eine Auseinandersetzung mit einigen Grundannahmen des DZ-Konzepts nicht vermeiden. Wir werden uns aber von den Untiefen der aktuellen Diskussion freihalten und auf vermeintlich sichere Gewässer im Ozean der DZ-Definitionen konzentrieren. So gehen wir bzgl. der Komposition von DZ davon aus, dass u.a. Modelle einen integralen Bestandteil Digitaler Zwillinge ausmachen. Je nach Anwendungsfall können unterschiedliche Modelle als konstituierend für einen Digitalen Zwilling angesehen werden. Diese umfassen jeweils solche Merkmale, die für die jeweilige Aufgabe relevant sind [1].

Eine weitere DZ-Kernkomponente sind Daten, die den DZ mit seinem realen Gegenstück verknüpfen. In der Literatur

stehen oftmals Daten aus der Nutzungsphase eines Produkts im Vordergrund, die zum Beispiel als Digital Shadow [2] oder Real Machine Data [3] bezeichnet werden. Unabhängig von der begrifflichen Abgrenzung sind jedoch weitere Daten einzubeziehen, die über den Lebenszyklus des realen Gegenstücks generiert und entitätsspezifisch zugeordnet werden können (z.B. Informationen aus dem Design- oder Herstellungsprozess [4]).

Des Weiteren können DZ verschiedene Akteuren über den Lebenszyklus eines Produkts einen bestimmten Mehrwert bieten, indem diese den DZ für die Bearbeitung verschiedener produktbezogener Aufgaben nutzen. Dies beinhaltet u.a. die Optimierung bestimmter produktbezogener Fähigkeiten und Prozesse sowie die Erweiterung des Serviceangebots. Zwar fokussieren Umsetzungen aktueller Forschungsarbeiten größtenteils DZ mit eng umrissenem Aufgabenfeld für spezifische Akteure in einer bestimmten Lebenszyklusphase, wie z.B. ein DZ für die Virtuelle Inbetriebnahme [5]. Allerdings sind unterliegende Konzepte meist lebenszyklusübergreifend ausgerichtet [6] und berücksichtigen Aufgaben mehrerer Akteure in einer (z.B. [1]) oder mehreren Lebenszyklusphasen (z.B. [7]). Außerdem kann ein DZ auf verschiedenen Systemebenen existieren [8–10] und unterschiedlich befähigt sein, Aufgaben zu bearbeiten und Einfluss auf seinen Gegenpart auszuüben. Autoren beschrei-

ben diesen Aspekt unterschiedlich, beispielsweise mit verschiedenartigen Ausprägungen von DZ-Zielen [10] oder Zwecken [11].

Diese Aspekte führen in Kombination mit dem breiten Anwendungsspektrum dazu, dass unterschiedliche Geschäftsmodelle für die Gestaltung von DZ-Systemen relevant sein können.

Geschäftsmodelle und Rollen von Akteuren

Aufbauend auf den genannten Grundannahmen konzentrieren wir uns nachfolgend auf Daten und Modelle als DZ-Kernelemente und betrachten mehrere Faktoren, die die Gestaltung vom DZ im Kontext verschiedener Geschäftsmodelle beeinflussen.

Geschäftsmodelle definieren Umfang und Architektur des Wertversprechens von Unternehmen und legen somit die Verteilung der produktbezogenen Aufgaben über die SH im Produktlebenszyklus fest [12]. Erweiterte Produkte, bzw. Produkt-Service-Systeme haben beispielsweise eine andere Aufgaben- und Nutzwert-Verteilung zwischen den Akteuren, als klassische Produkt-Geschäftsmodelle [13]. Besonders einflussreich sind die Partner, die an der Herstellung und dem Betrieb des Produkts beteiligt sind. Beide SH-Gruppen haben die größten Eingriffs- bzw. Zugriffsmöglichkeiten auf das abzubildende Produkt, und beeinflussen direkt ob und wie ein DZ gestaltet wird.

Tabelle 1. Ausprägungen unternehmensübergreifender DZ

	Keine Kooperation	Minimale Kooperation	Eingeschränkte Kooperation	Volle Kooperation	Vermittelte Kooperation
Architektur	Vollständig entkoppelt	Weitgehend entkoppelt - Integration über Services	Verschiedene Integrationstiefen möglich	Verschiedene Integrationstiefen möglich	Vermittelte Integration über Dienstleister
Vertrauen	Gering	Grundlegend	Mäßig	Hoch	Hoch (ggü. Plattformbetreiber)
Beziehungen	- Gleichrangige Partner - Keine Kooperationsbeziehung - Starker Wettbewerb	- Grundlegende Kooperation	- Abgestimmte Beziehungen zwischen Partnern - Keine gefestigten Kooperationen	- Etablierte, langfristige, gut abgestimmte Kooperationen - Nutzer entwickeln gemeinsam Anwendungen	- Kurzfristige und flexible Kooperationen (bspw. zwischen Unternehmen mit wenig IT-Kapazität) - Plattform muss keine weitere Teilhabe am Produkt haben
DZ-Anzahl	Mehrere DZ	Ein DZ	Ein DZ	Gemeinsames DZ-System	Ein DZ
DZ-Eigentümer	Mehrere	Einzelner	Einzelner	Mehrere	Einzelner
DZ-Eigenschaften	- Partner nutzen eigene DZ - Authentizität der DZ geringer als bei kooperativen Ansätzen	- DZ-Eigentümer ist Hauptnutzer - Definierte Schnittstellen / Services für Partner - Authentizität der DZ stark von DZ-Eigentümer abhängig	- Mehrere DZ-Nutzer unterschiedlicher Teilhabe - Nutzung in definierten Arbeitsbereichen - Mittlere DZ-Authentizität	- Detailgetreuer, domänenübergreifender DZ - Komplexes, leistungsfähiges DZ-System - Gemeinsame Entwicklung	- DZ als Dienstleistung eines Drittanbieters
Vorteile	+ Informationssicherheit + Kein Integrationsaufwand + Kein Abstimmungsaufwand + Nutzung bestehender Systemlandschaft	+ Kein oder geringer IT-Aufwand bei Nutzern + Keine Pflege bei Nutzern + Preisgabe lediglich notwendiger produktbezogener Informationen + Kooperation auf gemeinsamer Informations- und Modellbasis	+ „Lock-in“ Effekt + Erstellung verschiedener Sichten, Zugangsrechte und Systemgrenzen + Flexible Kooperationsmöglichkeiten	+ Leistungsfähiges DZ-System + Experten-geführte DZ-Entwicklung	+ Geringer IT-Aufwand + Keine Pflege + Kein Integrationsaufwand
Nachteile	- Keine Integration - Ineffizient - Mehraufwand für alle Akteure - Unternehmen müssen diversifizieren oder investieren	- Mehraufwand beim Entwickler - Abstimmungsaufwand bei Definition der Dienstleistungen	+ „Lock-in“ Effekt - Umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen seitens Betreiber notwendig - Koordinationsaufwand bei der Integration von DZ-Elementen	- Hohe gegenseitige Abhängigkeit - Hohe Verantwortung aller Teilnehmer - Hohe Kosten und Systemkomplexität	- Ggf. geringe Integrationstiefe - Weitreichende Preisgabe und fehlende Kontrolle über Nutzung produktbezogener Informationen - Kosten

Zwar gibt es durchaus Demonstrationen nachträglicher, zum Beispiel durch Reverse Engineering erzeugter DZ-Umsetzungen [5]. Dieser Ansatz ist in der Praxis aufgrund steigender Produktkomplexitäten und ungeklärter rechtlicher Hindernisse jedoch nur auf einige ausgewählte Produkte anwendbar. Entsprechend betont die Mehrheit der Autoren die hohe Relevanz des Herstellers und der Beginning-of-Life-Phase eines Produkts für die Entstehung des DZ: Für Eigner et al. wird der DZ beispielsweise aus dem Digitalen Modell instanziiert, welches während der Konzept- und Entwicklungsphase entsteht [9]. Ähnliche Vorstellungen sind weit verbreitet (z. B. [4, 14]). Der Betreiber wiederum kontrolliert die Zugriffsmöglichkeiten während der Nutzungsphase und ist daher essentieller Ansprechpartner zur Bereitstellung der Betriebsdaten.

Für eine abstrahierte Betrachtung im Hinblick verschiedener Geschäftsmodelle für DZ unterscheiden wir zunächst zwischen DZ, die für unternehmensinterne und unternehmensübergreifende Netzwerke entwickelt wurden.

Unternehmensinterne Digitale Zwillinge
Diese sind geschlossene Systeme, die nur von verschiedenen SH einer Organisation genutzt werden. Attraktiv sind solche DZ für Unternehmensnetzwerke, in denen der Hersteller seine Leistungserbringung zum Beispiel im Rahmen von Wartungsverträgen oder andere Services verlängert und sowohl Hersteller als auch Betreiber einen Mehrwert durch den DZ-Einsatz erzielen können. Klassische herstellergetriebene Anwendungen, wie z. B. Feedback to Design [15] oder Modellbasierte Systementwicklung (MBSE) [1], werden durch Informationen aus Services der Nutzungsphase, wie z. B. der Zustandsüberwachung, ermöglicht. [3]. Für Hersteller besteht der Mehrwert u. a. darin, das realitätsgetreue Verhalten seines Produkts besser zu verstehen und zusätzliche Wertschöpfung durch Dienstleistungen zu erzielen. Der Betreiber kann u. a. durch geringere Betriebskosten profitieren. Mit dem Aufgabenspektrum des Herstellers steigt auch der Nutzwert, aufgabengerechte Modelle und Daten aus dem Digitalen Modell in

den DZ zu überführen. Unternehmensinterne DZ bringen deshalb mit vertiefenden Wertschöpfungsprozessen des DZ-Inhabers authentischere – also den tatsächlichen Ausprägungen seines Gegenparts entsprechendere [16] – einmalig instanziierte DZ hervor. Zwar steigen mit Nutzer- und Aufgabentiefe auch Anzahl und Distribution der benötigten DZ-Elemente, jedoch können diese durch spezifische Ansichten realisiert werden, die auf einen einheitlichen DZ zurückgreifen.

Unternehmensübergreifende Digitale Zwillinge

Unternehmensübergreifende DZ haben Nutzer in mehreren unabhängigen Unternehmen, die über das Produkt in Beziehung zueinander stehen. Unternehmen, die diese DZ anbieten, verfolgen ein kollaboratives Geschäftsmodell. Barrieren dieses Geschäftsmodells entstehen aus den grundsätzlichen Herausforderungen organisationsübergreifenden Informationsteilens, wie z. B. opportunistischem Handeln und gegenseitigen Ab-

hängigkeiten der Unternehmen [17]. Außerdem vertreten die SH jeweils eigene, teilweise gegensätzliche Interessen und neigen dazu, ihre Kernkompetenzen und geistiges Eigentum zu schützen [18]. In vielen Fällen möchte der Hersteller beispielsweise das Produktdesign und sonstige technische Informationen nicht freigeben.

Das Eingehen auf eine solche Beziehung birgt Risiken, verspricht aber zusätzliche kollaborative Mehrwerte und Wettbewerbsvorteile. Zur Entschärfung dieses Interessenkonflikts können verschiedene Ansätze verfolgt werden, die in den Themenbereich unternehmensübergreifender Informationssysteme (IOIS – Inter Organization Information Sharing Systems, nach [19]) eingeordnet werden können. Autoren systematisieren IOIS unterschiedlich, zum Beispiel hinsichtlich der Integrationstiefe verbundener Informationssysteme [20] oder der Teilhabe ihrer SH [19]. Wir sehen DZ als eine besondere Form von IOIS, da sie, ähnlich dem Produktavatar nach Hribernik et al. [14] als wichtiges Bindeglied im Kontext unternehmensübergreifender Informationssysteme dienen, jedoch aus Elementen mit unterschiedlichen Eigentümern konstituiert werden können. Ergänzend zu herstellergetriebenen Modellen und betreibergetriebenen Nutzungsdaten können sie weitere Elemente, wie z.B. rückfließende Daten aus Analyse- und Simulationsanwendungen von Drittparteien einbeziehen.

Digitale Zwillinge unterschiedlicher Kooperationsformen

Partner in Unternehmensnetzwerken, die durch heterogen ausgeprägte Beziehungen geprägt sind, haben verschiedenartige Informationsbedürfnisse und benötigen unterschiedliche Fähigkeiten von einem DZ. In Tabelle 1 wird eine erste Systematik zur Unterscheidung von DZ im Kontext unternehmensübergreifender Wertschöpfung vorgeschlagen, die Unternehmen bei der Auswahl einer bedarfsgerechten Umsetzung von DZ unterstützen soll. Diese Unterteilung schärft und ergänzt die IOIS-Systematisierungen von [19, 20] hinsichtlich des DZ-Konzepts und berücksichtigt weitere Faktoren, wie z.B. die Ausprägungen von Beziehungen zwischen Unternehmen in Netzwerken, Wertschöpfungsketten und verschiedenen Lebenszyklusphasen [20].

Unterscheidungsmerkmale

Zur Abgrenzung der bereits erläuterten DZ-Ausprägungen wird hier auf verschiedene Aspekte inter-organisationaler Beziehungen sowie resultierender Systemeigenschaften eingegangen. Die Einflussfaktoren für diese Kriterien sind vielfältig und können daher nur verkürzt betrachtet werden. Als elementarer Einfluss auf Beziehungen ist aber das Vertrauen zwischen den Partnern zu nennen. Vertrauensvolle Kooperationen reduzieren Risiken von Transaktionen, wie z.B. Unsicherheit und Opportunismus, und fördern den Austausch von Informationen [21] – entstehen aber meist über lange Zeit [20]. Wir glauben, dass der Vertrauensaspekt bei DZ-Systemen besonders ausgeprägt ist, da bestimmte DZ-Anwendungen einen Austausch mit unter hochsensiblen Informationen voraussetzen. Erschwerend kommt hinzu, dass neue Geschäftsmodelle durch unbekannte, sektorfremde Unternehmen bedient werden können und eine Umstellung oder Erweiterung bisheriger Aufgaben im Produktlebenszyklus erwirken können.

Darauf aufbauend kann über verschiedene Grade der Teilhabe involvierter Partnerunternehmen definiert werden wie stark ein Unternehmen Einfluss und Zugriff auf verschiedene DZ-Elemente haben darf. Weniger teilhabende Unternehmen können DZ-Module für eigene Aufgaben lediglich abrufen, während stärker teilhabende diese auch ergänzen oder verändern dürfen. Barrett und Konsynski definieren verschiedene Teilhabestufen von Firmen in IOIS [19], die wir auf das Gebiet unternehmensübergreifender DZ adaptieren und anpassen. Außerdem berücksichtigen wir, aufbauend auf Arbeiten von Shah et al., den Grad der Integration des DZ-Systems in die Informationssysteme der beteiligten Unternehmen [20].

Ausprägungen

Im Folgenden werden die erarbeiteten Ausprägungen von Digitalen Zwillingen im Kontext unternehmensübergreifender Wertschöpfung beschrieben. Dafür beschreiben wir jeweils in zwei Absätzen die Beziehungen und Kooperationsstrukturen beteiligter Unternehmen sowie die daraus resultierenden empfohlenen DZ-Systemeigenschaften. In einem dritten Absatz werden dann jeweils einige Vor- und Nachteile dieser Ausprägung erörtert.

Keine Kooperation

Diese Ausprägung beschreibt eine Konstellation mehrerer gleichrangiger Partner entlang des Produktlebenszyklus, deren Informationssysteme vollständig entkoppelt sind. Beteiligten Unternehmen fehlt ggf. Willen und nötiges Vertrauen, kritische Informationen über einen gemeinsamen DZ miteinander zu teilen, sodass Interaktionen nur entlang gewöhnlicher zwischenbetrieblicher Kommunikationskanäle stattfinden (z.B. E-Mail, schriftliche Aufträge, Rechnungen). Insbesondere für Wertschöpfungsketten und Lebenszyklen mit distanzierter Beziehungen und ggf. in Wettbewerb stehenden Partnern kann diese Ausprägung sinnvoll sein [20]. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Aufteilung der verschiedenen produktbezogenen Aufgaben zwischen den Akteuren nicht eindeutig ist, da beteiligte Unternehmen stark diversifiziert sind und Technologie- und Kompetenzgrenzen verschwimmen.

In dieser Ausprägung nutzt jeder Partner jeweils seine eigenen, innerbetrieblichen und geschlossenen DZ. Die genaue Zusammensetzung der jeweiligen DZ hängt zwar stark von der Zielsetzung seiner Nutzung ab, jedoch fällt die Authentizität dieser DZ geringer aus als bei nachfolgenden Ausprägungen, da fehlende Elemente nur minderwertig auf der Basis der begrenzt zur Verfügung stehenden Informationen ersetzt werden können. So können Modelle (z.B. durch Reverse Engineering) auf abstrakter Ebene nachmodelliert und fehlende Daten durch öffentlich zugängliche Datensätze (z.B. durch Umweltdaten von Drittparteien) ersetzt werden. Die DZ unterscheiden sich demnach in Qualität und Urheberschaft der konstituierenden Modelle und Daten.

Der Vorteil dieser Ausprägung liegt darin, dass ein unbefugter Zugriff auf produktbezogene Informationen durch andere Lebenszykluspartner ausgeschlossen ist. Darüber hinaus haben die Unternehmen keinen zusätzlichen Integrations- oder Abstimmungsaufwand über die Implementierung der jeweils eigenen DZ hinaus und können weiterhin gewohnte Systemlandschaft und Informationsaustauschkanäle verwenden. Als nachteilig kann zunächst die Ineffizienz der Implementierung von DZ bei allen Partnern gesehen werden. Des Weiteren entstehen ggf. Fehler infolge einer unpräzisen Modellierung oder Simulation bei einzelnen Partnern, die bei einer unternehmens-

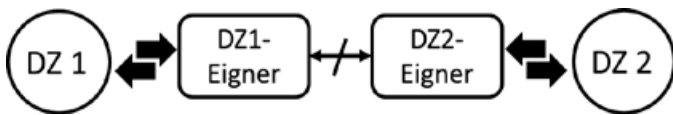


Bild 1. Keine Kooperation zwischen verschiedenen Akteuren im Produktlebenszyklus

übergreifenden Kooperation vermeidbar wären. Entsprechend kann bei diesem Ansatz mit erheblichem Mehraufwand bei allen Partnern gerechnet werden - Unternehmen müssen sich ggf. hinsichtlich der Entwicklung von DZ diversifizieren, oder in die Implementierung von DZ durch Drittanbieter investieren (Bild 1).

Minimale Kooperation

In dieser Ausprägung wird eine grundlegende Kooperation zwischen den Lebenszykluspartnern vorausgesetzt, da Zugang und Datenfluss zwischen DZ und Produkt in der Nutzungsphase gewährleistet sein muss. Während für Entwicklung und Instandhaltung des DZ-Systems ein einzelner, dedizierter DZ-Eigentümer verantwortlich ist, kann der Betrieb des DZ auch von einem Dienstleister (z. B. Cloud-Anbieter) gewährleistet werden. Eine oder mehrere Partner im Produktlebenszyklus können zwar auf definierte Anwendungen des DZ zurückgreifen, darüber hinaus aber keinen direkten Einfluss auf die Gestalt des DZ oder bereitgestellter Services ausüben.

Die Präzision bzw. Authentizität des DZ hängt von eigenen Anwendungen, den angebotenen Services sowie den zwischen den Partnern vereinbarten bilateralen Absprachen ab. Die Nutzung der angebotenen DZ-Services findet über die vom DZ-Eigentümer bereitgestellten Schnittstellen statt. Die Verantwortung der Nutzer beschränkt sich dabei auf die vorschriftsmäßige Nutzung dieser Schnittstellen.

Wesentlicher Vorteil der minimalen Kooperationsstruktur ist der geringe IT-Aufwand bei untergeordneten DZ-Nutzern, da diese keine aufwändige IT-Entwicklung oder DZ Instandhaltung durchführen müssen. Allerdings führt dieser Aspekt auch zu einer sehr einseitigen Belastung und bedingt eine hohe IT-Kompetenz des DZ-Eigentümers. Darüber hinaus muss mit höheren Abstimmungsaufwänden zwischen den Akteuren gerechnet werden, um das DZ-System anwendergerecht zu entwickeln und instand zu halten. Da die Systemintegration über anwendungsbezogene, in den DZ integrierte Dienstleistungen erfolgt, kann dann aber von einer reibungslosen

Kooperation über die gemeinsamen Schnittstellen ausgegangen werden. Der Zugriff auf diese ist auf den Kreis der Kooperationspartner beschränkt, sodass möglichen Sicherheitsrisiken effektiv begegnet werden kann.

Eingeschränkte Kooperation

DZ-Systeme mit einer eingeschränkten Kooperationsausrichtung empfehlen wir für mäßig abgestimmte Beziehungen mit limitiertem Vertrauen zwischen den Lebenszykluspartnern. Beziehungen sind noch nicht gefestigt, da sich Kooperationen noch im Aufbau befinden oder nicht langfristig angelegt ist.

Das DZ-System sollte neben einem alleinigen DZ-Eigentümer verschiedene Integrations- und Teilhabetiefen für untergeordnete DZ-Nutzer vorsehen. Während die meisten Akteure wiederum nur mittels eng definierter Schnittstellen auf ausgewählte DZ-Anwendungen zugreifen können, greifen assoziierte Partner auch direkt auf bestimmte abstrahierte oder unkritische DZ-Elemente zu. Diese sind befähigt auch eigene DZ-Anwendungen zu entwickeln und anderen Nutzern über das DZ-System zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist die Definition eines klar abgegrenzten Arbeitsbereichs für assoziierte Partner und die Implementierung entsprechender Sicherheitsmaßnahmen zur Gewährleistung der Systemintegrität und zur Einhaltung von Zugriffsrechten sinnvoll.

Je nach Sichtweise ergeben sich aus dieser Ausprägung Vor- und Nachteile durch den zu erwartenden „Lock-In-Effekt“. Dieser führt zu einer höheren Abhängigkeit untergeordneter Nutzer vom DZ-Eigentümer, weil sie beispielsweise interne Prozesse auf das genutzte DZ-System abstimmen müssen und ein Wechsel zu einer anderen DZ-Systemumgebung kosten- und zeitaufwändig sein kann. Bei der Integration der von Kooperationspartnern zugelieferten DZ-Anwendungen ist ferner mit erhöhtem technischen und organisatorischen Koordinationsaufwand zu rechnen. Jedoch erlaubt diese Konstellation, u. a. durch individuelle DZ-Ansichten und Systemgrenzen, eine flexible, maßgeschneiderte Kooperation für alle Nutzer (Bild 2).

Volle Kooperation

Unternehmensnetzwerke, die in vollem Umfang kooperieren bauen auf etablierten Geschäftsbeziehungen auf und operieren in hochgradig abgestimmte Lieferketten und Lebenszyklen mit langfristigen Beziehungen. Als zusätzliche vertrauensbildende Maßnahme leisten die Partner hohe gegenseitige Investitionen in das spezifische DZ-System. Im Gegensatz zu schwächer kooperativen Ausprägungen können sich für Entwicklung und Instandhaltung des gemeinsamen DZ-Systems auch mehrere DZ-Eigentümer im Verbund verantwortlich zeichnen. Jedoch sind auch hier verschiedene Integrationstiefen untergeordneter Nutzer möglich. Die Nutzer entwickeln gemeinsame Anwendungen, die ausschließlich auf die Systemeigenschaften (z. B. Systemarchitektur, Schnittstellen) der spezifischen DZ-Lösung zugeschnitten sind. Bilaterale Vereinbarungen sind je nach Nutzung und Beitrag der einzelnen Partner zu gestalten.

Ein DZ-System dieser Ausprägung hat das Potential eine umfangreiche, detailgetreue und domänenübergreifende digitale Abbildung seines physischen Gegenstücks darzustellen. Dadurch, dass die jeweiligen Experten in der Kooperation ihre Stärken und Wissen zur Entwicklung des DZ-Systems beitragen, kann dieser vollständiger und umfangreicher gestaltet werden als in anderen Kooperationsformen. Das Potenzial von DZ-Authentizität und Service-Funktionalität ist entsprechend hoch.

Durch, die hohe interdisziplinäre und mehrperspektivische Entwicklung des DZ durch unternehmensübergreifende Expertenteams wird das übergreifende DZ-System leistungsfähiger und authentischer. So können Wartungsunternehmen beispielsweise DZ-Elemente zur

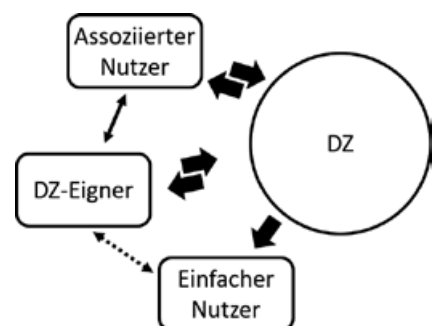


Bild 2. Eingeschränkte Kooperation zwischen Akteuren mit unterschiedlichen Beziehungen sowie Teilhabe an einem DZ-System

prädiktiven Wartung (mit-)gestalten. Ein wesentlicher Nachteil dieser Kooperationsform ist die hohe gegenseitige Abhängigkeit sowie die hohe Verantwortung mitsamt den entsprechenden Investitionen aller Teilnehmer für das gemeinsam entwickelte System. Darüber hinaus kann das Gesamtsystem eine große Komplexität erreichen, welche von einem leistungsfähigen IT-Dienstleister oder Systemintegrator im Kooperationsverbund bewältigt werden muss. Die Kosten für Design, Support und Instandhaltung steigen proportional zur Anzahl der unterstützten Anwendungen und assoziierter Nutzer an.

Vermittelte Kooperation

Kernidee der vermittelten, bzw. mediierten Kooperationsausprägung ist die Bereitstellung eines DZ als Dienstleistung, zum Beispiel durch einen Plattformbetreiber. Dieser steht meist nicht in einer anderweitigen etablierten Beziehung zu den Kooperationspartnern, muss aber dennoch ein hohes Maß an Vertrauen bei Ihnen genießen (ähnlich dem Geschäftsmodell einer Bank). Dieser Ansatz eignet sich insbesondere für kurzfristige und dynamische Kooperationen sowie für solche mit vielen kleinen Partnern mit wenig Ressourcen oder geringen IT-Kapazitäten.

Die betriebene Plattform dient als Mediator zum Austausch produktbezogener Daten und Modelle, und vermittelt die Interaktionen verschiedener Akteure und Nutzer entlang des Produktlebenszyklus als Dienstleistungen. Der Anbieter kann sowohl als reiner Vermittler als auch als Entwickler des DZ auftreten. Die Authentizität des DZ hängt stark vom Nutzen der realisierbaren Anwendungen sowie der Umsetzung geeigneter Mechanismen ab, die eine Verfügbarmachung authentischer DZ-Elemente durch kooperierende Partner begünstigen. Hierfür sind verschiedene Geschäftsmodelle denkbar. Technische und vertragliche Mechanismen müssen installiert werden, um unzulässige Verwendungen und Veränderungen bereitgestellter DZ-Elemente auszuschließen.

Der Vorteil der DZ-Plattform liegt zunächst im Outsourcing des IT-Aufwands. Dies ist insbesondere für diejenigen Unternehmen interessant, die aufgrund ihrer Größe oder Ausrichtung keine eigene ausgeprägte IT-Kompetenz vorhalten. Dem gegenüber stehen laufende Kosten für die Nutzung der Dienstleistung, die

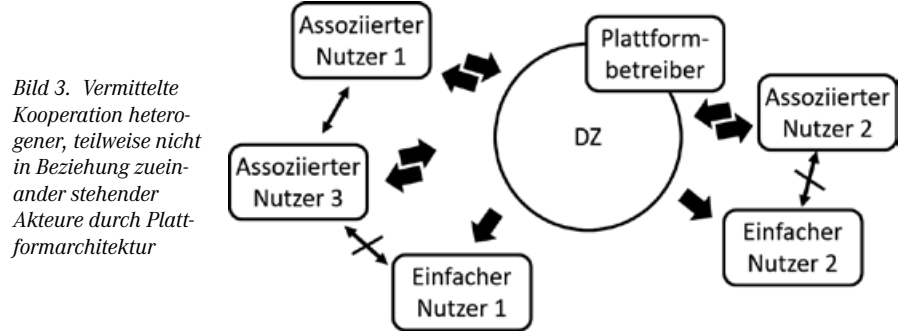


Bild 3. Vermittelte Kooperation heterogener, teilweise nicht in Beziehung zueinander stehender Akteure durch Plattformarchitektur

von den beteiligten Akteuren getragen werden müssen. Darüber hinaus entstehen weitreichende Fragen bzgl. der gewerblichen Schutz- und Urheberrechte (IPR) an den im DZ enthaltenen und produzierten Daten, Informationen und Modellen. Der Dienstleister hat in dieser Kooperationsform sämtliche produktbezogenen Informationen und Interaktionen zwischen den Lebenszykluspartnern in der Hand (Bild 3).

Zusammenfassung und Ausblick

Durch seine Fähigkeit die produktbezogene Dienstleistungslandschaft über Lebenszyklus- und Unternehmensgrenzen hinweg zu erweitern, beeinflusst der DZ die Geschäftsbeziehungen und Geschäftsmodelle der verschiedenen Akteure. Die aufgeführten DZ-Ausprägungen stellen in Abhängigkeit unternehmensindividueller Faktoren pragmatische Gestaltungsmöglichkeiten von unternehmensübergreifenden DZ dar. Wie in Tabelle 1 zu sehen steigt nach unserer Ansicht das Potenzial der Authentizität von DZ mit stärkerem Integrations- und Kooperationsgrad über Unternehmensgrenzen hinweg an. Diese Annahme beruht auf der ansteigenden Fähigkeit des Systems DZ-Elemente einzubeziehen, die auch außerhalb der begrenzten Kernfähigkeiten des DZ-Eigentümers liegen.

Eine Herausforderung diesbezüglich ist die Erweiterung eigenständiger unternehmensinterner DZ zu überspannenden und vernetzten DZ mit breiten Nutz- und Anbietergruppen. Insbesondere verlangt die Anbindung verschiedener Akteure an ein DZ-System nach Geschäftsmodellen, die jeder systemintegrierten Partei einen Mehrwert durch Nutzung und Verfügbarmachung von DZ-Elementen gewähren. Plattformen und Cloud-Hosting können vor diesem Hintergrund als „Befähiger“ innovativer Konzepte, wie z. B. Data-

oder Model-as-a-Service (DaaS und MaaS) gesehen werden. Nutzbare DZ-Elemente können hierfür in DZ spezifischen Daten- und Modell-Bibliotheken vorgehalten und durch eine Anbindung an virtuelle Marktplätze gehandelt werden. Durch die Notwendigkeit die verschiedenen unternehmensinternen IT-Landschaften zu integrieren wächst zudem die Bedeutung interoperabilitätsstiftender Technologien, wie übergreifendem semantischen Datenmanagement und Wissensrepräsentationen.

Literatur

1. Dahmen, U.; Rossmann, J.: Experimentable Digital Twins for a Modeling and Simulation-based Engineering Approach. In: Proceedings of the 4th IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE 2018), October 1-3, Rome, Italy, S. 1-8
DOI: 10.1109/SysEng.2018.8544383
2. Stark, R.; Fresemann, C.; Lindow, K.: Development and Operation of Digital Twins for Technical Systems and Services. CIRP Annals 68 (2019) 1, S. 129-132
DOI: 10.1016/j.cirp.2019.04.024
3. Aivaliotis, P.; Georgoulas, K.; Alexopoulos, K.: Using Digital Twin for Maintenance Applications in Manufacturing: State of the Art and Gap analysis. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2019, S. 1-5
DOI: 10.1109/ICE.2019.8792613
4. Rios, J.; Hernandez, J.; Oliva, M.; Mas, F.: Product Avatar as Digital Counterpart of a Physical Individual Product: Literature Review and Implications in an Aircraft. Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems (2015), S. 657-666
5. Ayani, M.; Ganebäck, M.; Amos, H.: Digital Twin: Applying Emulation for Machine Reconditioning. Procedia CIRP 72 (2018), S. 243-248
DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.139
6. Holler, M.; Uebersnickel, F.; Brenner, W.: Digital Twin Concepts in Manufacturing Industries-A Literature Review and Avenues for Further Research. In: Proceedings of 18th International Conference on Industrial Engineering (IIIE), 2016

7. Söderberg, R.; Wärmefjord, K.; Carlson, J.; Lindkvist, L.: Toward a Digital Twin for Real-time Geometry Assurance in Individualized Production. CIRP Annals 66 (2017) 1, S. 137-140
DOI: 10.1016/j.cirp.2017.04.038
8. Qi, Q.; Tao, F.; Zuo, Y.; Zhao, D.: Digital Twin Service towards Smart Manufacturing. Procedia CIRP 72 (2018), S. 237-242
DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.103
9. Eigner, M.; Detzner, A.; Schmidt, P.; Tharma, R.: Definition des Digital Twin im Produktlebenszyklus. ZWF 114 (2019) 6, S. 345-350
DOI: 10.3139/104.112107
10. Uhlenkamp, J.-F.; Hribernik, K.; Wellsandt, S.; Thoben, K.-D.: Digital Twin Applications – A First Systemization of Their Dimensions. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) 2019, S. 1-8
DOI: 10.1109/ICE.2019.8792579
11. Enders, M.; Hoßbach, N.: Dimensions of Digital Twin Applications – A Literature Review. In: Proceedings of the 25th Americas Conference on Information Systems (AMCIS), 2019
12. Richardson, J.: The Business Model: An Integrative Framework for Strategy Execution. Strat. Change 17 (2008) 5-6, S. 133-144
DOI: 10.1002/jsc.821
13. Thoben, K.-D.; Jagdev, H.; Eschenbächer, J.: Extended Products: Evolving Traditional Product Concepts: In: Proceedings of the 7th International Conference on Concurrent Enterprising „Engineering the Knowledge Economy through Cooperation“ 2001, S. 429-439
14. Hribernik, K.; Rabe, L.; Thoben, K.; Schumacher, J.: The Product Avatar as a Product-Instance-Centric Information Management Concept. IJPLM 1 (2006) 4, S. 367
DOI: 10.1504/IJPLM.2006.011055
15. Tao, F.; Sui, F.; Liu, A.; Qi, Q.; Zhang, M.; Song, B.; Guo, Z.; Lu, S.; Nee, A.: Digital Twin-driven Product Design Framework. International Journal of Production Research 57 (2019) 12, S. 3935-3953
DOI: 10.1080/00207543.2018.1443229
16. Dudenredaktion: authentisch o. J. Online unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/authentisch> [Zugriff am 02.02.2020]
17. Emerson, R.: Power-dependence Relations. American Sociological Review (1962), S. 31-41
DOI: 10.2307/2089716
18. Jap, S.; Anderson, E.: Testing a Life-Cycle Theory of Cooperative Interorganizational Relationships: Movement Across Stages and Performance. Management Science 53 (2007) 2, S. 260-275
DOI: 10.1287/mnsc.1060.0610
19. Barrett, S.; Konsynski, B.: Inter-Organization Information Sharing Systems. MIS Quarterly 6 (1982), S. 93
DOI: 10.2307/248993
20. Shah, R.; Goldstein, S.; Ward, P.: Aligning Supply Chain Management Characteristics and Interorganizational Information System Types: An Exploratory Study. IEEE Transactions on Engineering Management 49 (2002) 3, S. 282-292
DOI: 10.1109/TEM.2002.803382
21. Terpend, R.; Ashenbaum, B.: The Intersection of Power, Trust and Supplier Network Size: Implications for Supplier Performance. Journal Supply Chain Manag 48 (2012) 3, S. 52-77
DOI: 10.1111/j.1745-493X.2011.03261.x

■ Die Autoren dieses Beitrags

Jan-Frederik Uhlenkamp, M.Sc., geb. 1989, studierte Wirtschaftsingenieurwesen Produktionstechnik an der Universität Bremen. Seit 2018 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Intelligente IuK-Umgebungen für die kooperative Produktion am Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH (BIBA). Schwerpunkt seiner Forschung liegt im Bereich entitätsspezifischer PLM-Konzepte im Bereich der maritimen und Windindustrie. Im Rahmen der europäischen Projekte „ReaLCoE“ und „DIH4CPS“ arbeitet er maßgebend an der Entwicklung und Implementierung von Digital Twin-Konzepten.

Dipl.-Inform. Karl Hribernik, geb. 1973, studierte Informatik an der Universität Bremen und leitet die Abteilung Intelligente IuK-Umgebungen für die kooperative Produktion im BIBA. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Integration dynamischer Datenquellen im Product Lifecycle Management auf Produkt-ebene. Seit seinem Eintritt ins BIBA im Jahr

2002 war er an mehreren europäischen Projekten zum Thema PLM beteiligt. Derzeit ist er Technischer Koordinator des von der Europäischen Kommission geförderten H2020-Projekts „UPTIME - Unified Predictive Maintenance System“, das vom BIBA koordiniert wird.

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben, geb. 1957, studierte Maschinenbau an der Universität Braunschweig. Im Jahr 2001 habilitierte er sich im Fachgebiet Produktionssystematik/Produktionssysteme. Über seine Professur für Produktionstechnik an der Universität Bremen hinaus ist er Direktor des Forschungsbereichs Informations- und kommunikationstechnische Anwendungen in der Produktion (IKAP) am BIBA. Neben nationalen Projektaktivitäten leitet er seit mehr als 20 Jahren europäisch geförderte Forschungsprojekte und Netzwerke (z. B. Koordinator der EG-geförderten Projekte LABORANOVA und FALCON). Wichtige Veröffentlichungen und Forschungsaktivitäten befassen sich mit kooperativen Prozessen insbesondere für produktbasierte Innovationen, Produkt- und Service Engineering, Produktlebenszyklusmanagement sowie kollaborativen Unternehmensnetzwerken.

■ Summary

Increasing dependencies in today's value chains and innovative business models are causing the organizational boundaries between product-related tasks and services to become increasingly blurred. This article attempts to show systematically how digital twins can be designed in the context of cross-company business models and applications. We distinguish five different forms of digital twins and examine approaches for their implementation.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112304

ZWF 115 (2020) Special; page 84-89

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0947-0085